

Razvoj adaptivnega inteligentnega ventila

Aleš Svetek¹, Damir Vrančič¹, Janko Petrovčič¹, Samo Krančan², Zoran Šaponja²

¹Odsek za sisteme in vodenje, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana

²Danfoss Trata d.o.o., Jožeta Jame 16, 1000 Ljubljana

E-mail: ales.svetek@ijs.si

Design of adaptive intelligent valve

The paper presents a new control valve aimed at reducing oscillations in the closed-loop system. The valve consists of oscillation detector and gain adaptation block. The oscillations in the system are reduced by reducing valve's dynamic gain. The valve was tested on Matlab-Simulink environment, on the process simulated by "hardware-in-the-loop" and on a real laboratory setup. The results showed that the new valve can efficiently reduce the oscillations in the system.

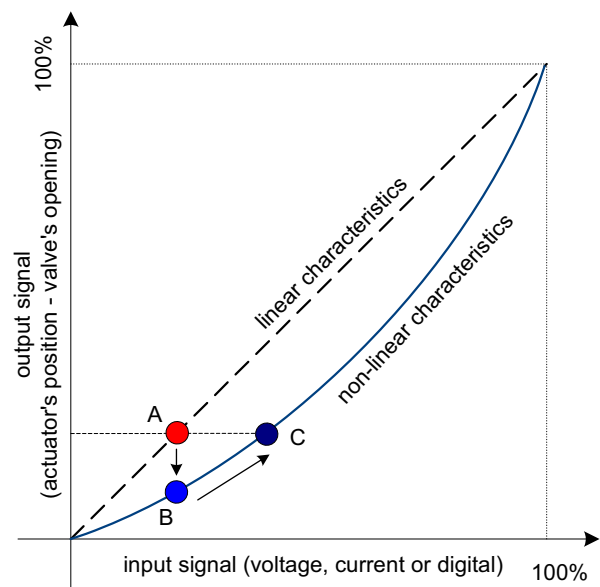
1 Uvod

V regulacijskih krogih lahko prihaja do pojava oscilacij. Razlogov je lahko več, najbolj pogosti pa so neustrezno nastavljeni parametri regulatorjev in sprememba delovne točke pri nelinearnih sistemih (npr. razlika med zimskim in letnim režimom delovanja). Poseganje v regulator zahteva čas, katerega pri operaterjih pogosto primanjkuje. V podjetju Danfoss Trata d.o.o. so se zato odločili, da razvijejo novo generacijo inteligentnih ventilov v sistemih HVAC, v katere so vgradili logiko, ki zmanjšuje morebitne oscilacije v sistemu. Inteligentni ventil lahko zmanjša oscilacije v zaprtizančnem sistemu tako, da v primeru, če zazna oscilacije v sistemu, zmanjša ojačenje ventila in s tem stabilizira zaprtizančni sistem.

2 Pristopi za zmanjšanje oscilacij

Ena izmed rešitev za zmanjšanje ojačenja ventila je ta, da ventil spremeni karakteristiko iz linearne v nelinearno tako, kot je prikazano na sliki 1. Slabost tovrstne rešitve je v tem, da tako hipoma spremenimo delovno točko ventila iz točke A v B, nato pa šele po nekem času

regulacijski sistem poskrbi, da preidemo nazaj v točko C. Druga pomanjkljivost tovrstne rešitve je ta, da z zmanjšanjem ojačenja v okolici točke C povzročimo zvišanje ojačenja v drugem delu vhodno-izhodne karakteristike.

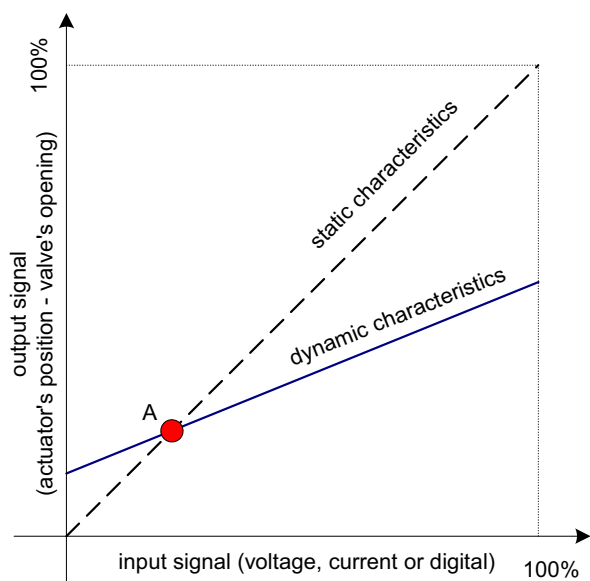


Slika 1. Zmanjšanje statičnega ojačenja ventila.

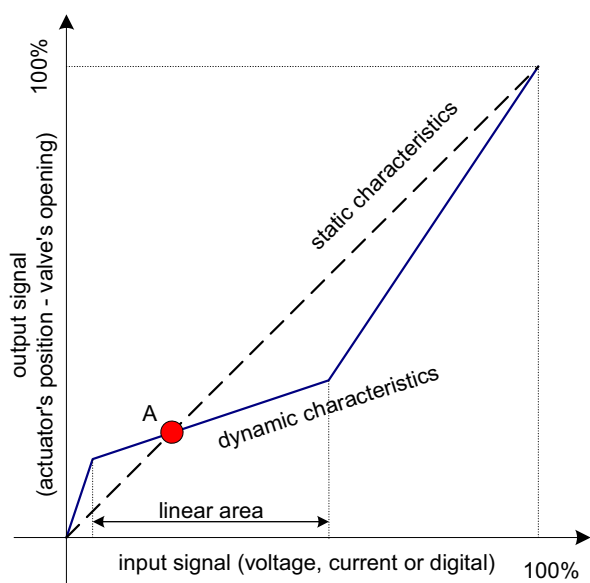
Druga možna rešitev za zmanjšanje ojačenja ventila je ta, da skozi delovno točko A potegnemo bolj položno krivuljo, kot je prikazano na sliki 2. S spremembo delovne točke ustrezno premikamo novo krivuljo in lahko neodvisno spreminjamo dinamično ojačenje ventila v različnih področjih delovanja. Slabost te rešitve je v tem, da ne moremo hipoma zapreti ali odpreti ventila.

Tretja možna rešitev je kombiniran pristop v katerem spremenimo tako statično kot tudi dinamično karakteristiko ventila. Prikazana je na sliki 3. V okolici točke, kjer zaznamo oscilacije, zmanjšamo ojačenje ventila, pri tem pa zaradi varnosti ohranimo skrajni točki (popolna odprtost in zaprtost ventila). To

rešitev smo uporabili pri razvoju inteligentnega ventila.



Slika 2. Zmanjšanje dinamičnega ojačenja ventila.



Slika 3. Kombiniran pristop za zmanjšanje dinamičnega in statičnega ojačenja ventila.

3 Delovanje inteligentnega ventila

Za učinkovito delovanje inteligentnega ventila je potrebno izdelati detektor oscilacij ter algoritem za ustrezno zmanjšanje ojačenja ventila.

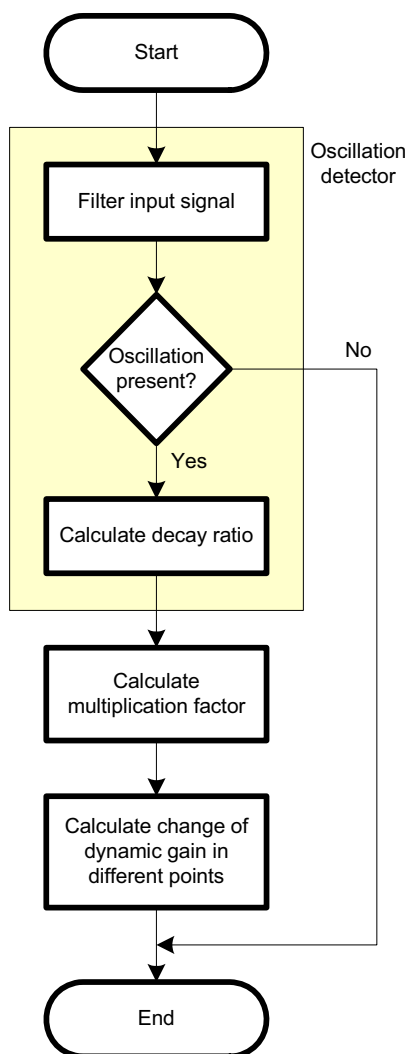
Najprej je potrebno izračunati dinamično ojačenje ventila v delovni točki, ki jo določa filtrirana vrednost krmilnega signala, nato pa moramo izračunati izhodno vrednost (želen položaj igle ventila) glede na vhodno napetostno/tokovno vrednost.

Določanje karakteristike dinamičnega ojačenja v različnih delovnih točkah je nekoliko bolj zapleteno. Osnovna bločna shema je prikazana na sliki 4. Vhodni signal najprej filtriramo z nizkoprepustnim filtrom, da izločimo visokofrekvenčne šume. Nato preverimo, ali so v sistemu prisotne oscilacije. V primeru, da zaznamo oscilacije, izračunamo količnik dušenja (*decay ratio*). Glede na izračunano vrednost ustrezno zmanjšamo ali povečamo dinamično ojačenje signala okrog točke, kjer smo zaznali oscilacije.

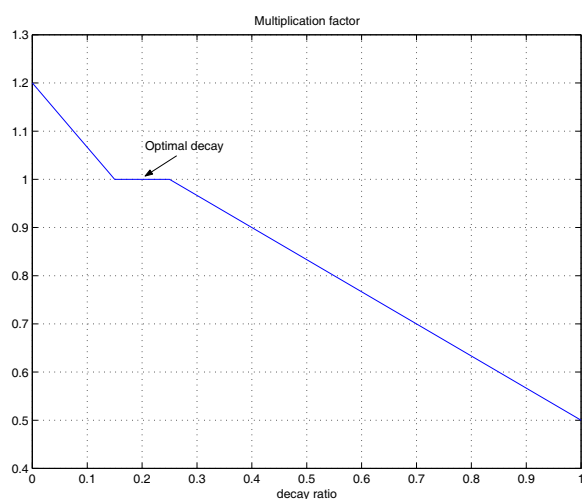
Prilagoditev ojačenja (faktor, s katerim množimo dinamično ojačenje ventila v delovni točki) glede na izračunano vrednost količnika dušenja (*decay ratio*) je prikazana na sliki 5. Za optimalno vrednost količnika dušenja smo izbrali območje od 0.15 do 0.25. Če bo izmerjen količnik dušenja v tem območju, potem ne bomo spreminjali ojačenja ventila. Če izmerimo manjši količnik dušenja (preveliko dušenje signala), potem bomo zvišali ojačenje ventila v okolici delovne točke. V obratnem primeru pa bomo zmanjšali ojačenje okoli delovne točke.

Na kakšen način spreminjamo dinamična ojačenja v različnih delovnih točkah ventila? Delovno področje ventila je predstavljeno s tremi točkami, kot je prikazano na sliki 6. Tri točke predstavljajo ojačenje ventila pri 0%, 50% in 100% odprtosti ventila. Ojačenja nikoli ne morejo biti višja od parametra *gain_max* (vrednost 1) in nižja od *gain_min* (vrednost 0.2). Vrednost ojačenja ventila v poljubni delovni točki se izračuna na osnovi interpolacije med tremi podanimi točkami.

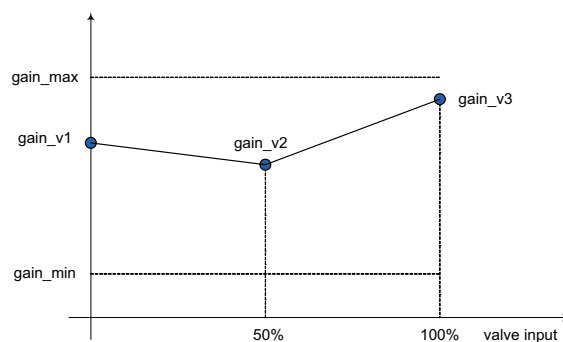
Na sliki 7 je prikazan primer, kjer so se pojavile oscilacije v okolici 40% vhodnega signala in je potrebno zmanjšati ojačenje ventila. Prvotna ojačenja ventila v treh točkah (modra barva) so ustrezno spremenjena (rdeča barva).



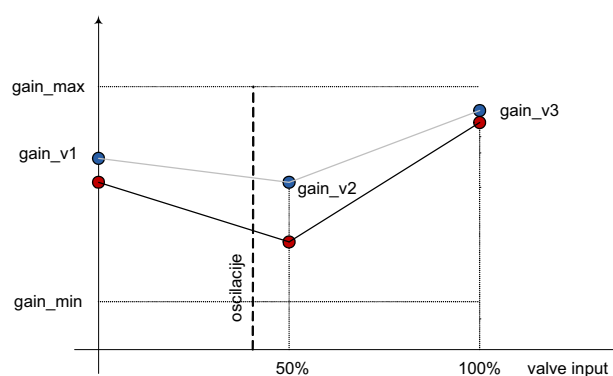
Slika 4. Bločna shema principa delovanja inteligentnega ventila.



Slika 5. Odvisnost faktorja s katerim spreminjamo ojačenje ventila v delovni točki od izračunane vrednosti količnika dušenja (*decay ratio*).



Slika 6. Ojačenje ventila v treh delovnih točkah (0%, 50% in 100%). Ojačenje v poljubni delovni točki se izračuna na osnovi interpolacije.

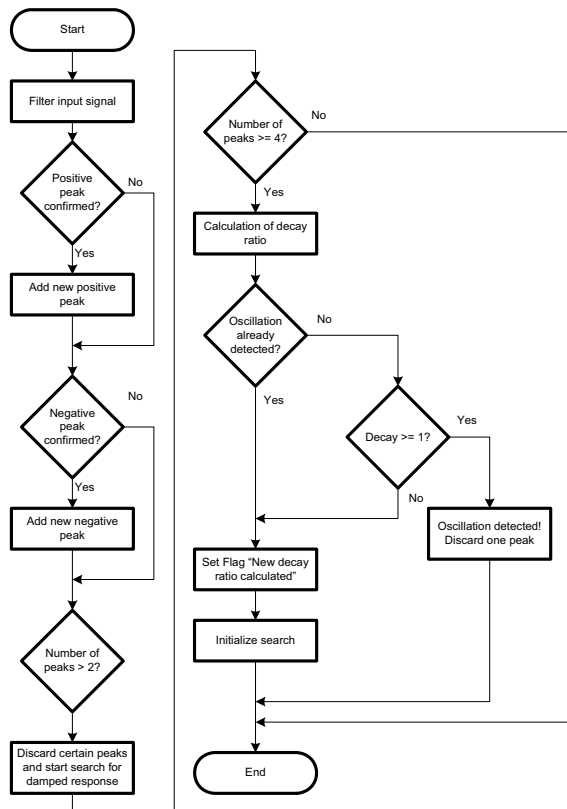


Slika 7. Sprememba ojačenje ventila v treh delovnih točkah (0%, 50% in 100%), če se pojavijo oscilacije v okolici 40% odprtosti ventila. Najbolj se spremeni ojačenje v točki, ki je najbližja področju, kjer so se pojavile oscilacije.

Najbolj je spremenjena točka, ki je najbližje področju, kjer so se pojavile oscilacije (50%), najmanj pa najbolj oddaljena točka (100%). Pri izračunu ojačenja v vseh treh delovnih točkah uporabimo algoritme, ki so uporabljeni pri mehkih (fuzzy) regulacijskih sistemih.

Detekcijo oscilacij (rumeno področje na sliki 6) izvedemo tako, kot je prikazano na sliki 8. Najprej rahlo filtriramo vhodni signal in iščemo pozitivni ali negativni vrh v signalu. V primeru, da pozitivni vrh potrdimo (signal pade pod maksimalno izmerjeno vrednost minus velikost histereze), iščemo negativnega in obratno. Ko smo detektirali prve tri vrhove, ki so dovolj veliki, izločimo enega ali dva vrha in začnemo iskati preostale vrhove (detekcija oscilacij). V primeru, da smo poiskali zadostno število vrhov

(4), izračunamo količnik dušenja (*decay ratio*). Če je količnik dušenja zelo visok (1 ali več), počakamo na še en vrh, da ga potrdimo (do izračuna napačnega količnika dušenja namreč lahko pride pri spremembi delovne točke ventila). Ko smo izračunali količnik dušenja, to signaliziramo preostalemu programu, ki ustrezno spremeni ojačenja ventila v posameznih delovnih točkah.



Slika 8. Diagram poteka detektorja oscilacij.

4 Preizkus delovanja

Delovanje inteligentnega ventila smo preizkusili v simulacijskem okolju in v praksi. Ventil z omenjeno inteligentno funkcijo smo sprva preizkusili na PC platformi s simulacijo v programskem orodju Matlab-Simulink. Po uspešnih rezultatih simulacij smo opravili nadaljnja testiranja realnega ventila v simuliranem okolju. PI regulator in proces smo simulirali s prenosnim računalnikom in ju dodali sistemu z ventilom prek A/D in D/A pretvornikov. Tovrstno testiranje imenujemo »hardware-in-the-loop« eksperimentiranje in je zelo pogosto v inženirski praksi, ker omogoča

večjo prilagodljivost in spremembo pogojev, kot pri neposrednih testiranjih v praksi.

Izbrali smo naslednji PI regulator:

$$G_R(s) = K_P + \frac{K_I}{s}, \quad (1)$$

kateremu smo dodali zaščito pred integralskim pobegom in udarnim preklpom. Izbrani parametri regulatorja so bili naslednji:

$$\begin{aligned} K_P &= 1.6 \\ K_I &= 0.05 \end{aligned} \quad (2)$$

Izhod iz regulatorja smo prek D/A pretvornika pošiljali na vhodni signal ventila, pozicijo ventila pa smo brali prek A/D pretvornika in jo pošiljali na vhod v simuliran proces.

Proces je imel naslednjo prenosno funkcijo:

$$G_P(s) = \frac{e^{-8s}}{(1 + 8s)^2}. \quad (3)$$

Torej uporabili smo proces drugega reda (pogosto pri sistemih ogrevanja) z zakasnitvijo 8 sekund (zakasnitev ogrevalne vode od ventila do prostora). Časovne konstante so nekoliko krajše od realnih (predvsem časovne konstante procesa) zato, da skrajšamo čas poizkusa.

Pred vhod v proces smo še dodali nelinearno funkcijo:

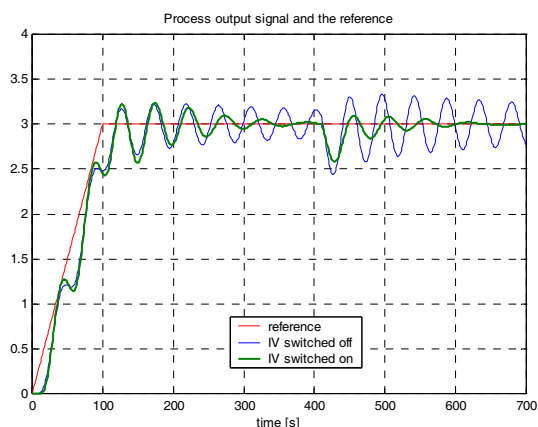
$$u = \frac{10K_v x}{10 - x(1 - K_v)}, \quad (4)$$

kjer je x položaj ventila, u pa vhodni signal v proces. Uporabili smo konstanto $K_v=1.7$. Nelinearnost smo dodali zato, da lahko ugotovimo ali bo funkcija inteligentnega ventila pravilno zmanjšala ojačenje ventila samo v področju, kjer se pojavijo oscilacije.

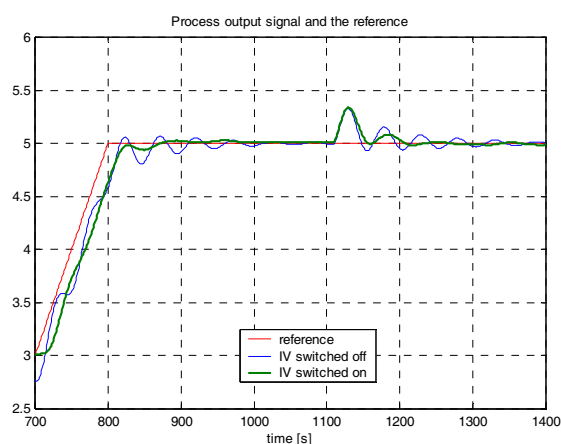
Poizkus je potekal tako, da smo spreminjali delovno točko procesa (referenčno vrednost) iz 3 na 5 in na 9 ter nazaj. Sprememba delovne točke je bila postopna (v časovnem obdobju

100s). 300s po spremembi delovne točke smo dodali motnjo na vhod v proces (pred nelinearnostjo). Najbolj običajen način vodenja procesov je namreč regulacijsko delovanje (izkrmiljenje motenj).

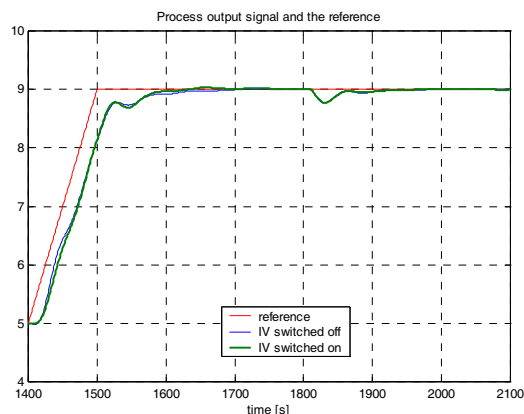
Slike 9 do 11 prikazujejo odziv procesa med poizkusi v enakih časovnih intervalih, kot so bili izbrani za prikaz pozicije ventila. Tu lahko opazimo, da je inteligentni ventil znatno prispeval k stabilizaciji zaprtozančnega sistema. Dejanski premik ventila je manjši od vhodnega signala zlasti v področjih, kjer je bil ventil veliko bolj oscilatoren. Le-ta razlika dejansko omogoča stabilizacijo zaprtozančnega regulacijskega sistema.



Slika 9. Začetek poizkusa na ventilu (spodnji del območja).



Slika 10. Prehod v srednji del območja ventila.



Slika 11. Prehod na zgornji del območja ventila.

Poleg simulacij je bilo delovanje inteligentne funkcije preizkušeno tudi na testni progi za preizkušanje ventilov v podjetju Danfoss Trata d.o.o. Rezultati poizkusov so pokazali, da razviti sistem uspešno zmanjšuje oscilacije v sistemu.

5 Zaključek

Za novo generacijo inteligentnih ventilov podjetja Danfoss Trata d.o.o. smo razvili algoritme, ki zmanjšujejo morebitne oscilacije v regulacijskem sistemu. Uporabili smo kombinirani pristop prilagajanja tako statičnega kot tudi dinamičnega ojačenja ventila. To funkcionalnost smo testirali simulacijsko, v simuliranem okolju (»hardware-in-the-loop«) ter na testni progi v podjetju Danfoss Trata d.o.o. Vsi rezultati so pokazali, da razviti sistem uspešno zmanjšuje oscilacije in pomaga stabilizirati regulacijsko zanko. Poleg tega pa funkcija inteligentnega ventila pripomore k manjši obrabi ventila.

6 Reference

- [1] VRANČIČ, Damir, PETROVČIČ, Janko, SVETEK, Aleš, KRANČAN, Samo, ŠAPONIJA, Zoran. *Opis delovanja inteligentnega ventila za model AME 335, (IJS delovno poročilo, 10181)*, Institut Jožef Stefan, Ljubljana 2009.